

Sonderdruck aus

Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift

Mit den vierteljährlichen Beilagen: »Forum Parodontologicum«, »Prothetik und Werkstoffkunde«, »Zahnerhaltungskunde«, »Kieferorthopädie« und »Kieferchirurgie«

Organ der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (Zentralverein), der Deutschen Arbeitsgemeinschaft zur Erforschung der Parodontopathien (Arpa), der Deutschen Gesellschaft für Prothetik und Werkstoffkunde sowie der Arbeitsgemeinschaft für Zahnerhaltungskunde

Alle Rechte, auch die des Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe dieses Sonderdrucks und der Übersetzung behält sich der Verlag vor.

Carl Hanser Zeitschriftenverlag GmbH, München 27, Kolbergerstr. 22

15. Jahrgang

15. Juni 1960

Heft 12

Medizinische
Habilitationsschrift
Erlangen

vom 18. 2. 1959.

O. Bock.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548202_0144

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Originalarbeiten

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten Erlangen
(Kommiss. Direktor: Professor Dr. med. Dr. med. dent. H. Paschke)

Über die Innervation des Dentins

Von Oskar Bock

Einleitung

An allen Stellen des menschlichen Körpers, an denen Schmerz empfunden wird, konnten von Histologen Nerven nachgewiesen werden.

Diese Tatsache war und ist richtungweisend für alle Forschungen über die Innervation des menschlichen Zahnbeins. Sie sollen dem Zahnarzt die Aufgabe erleichtern den Schmerz zu lindern. Aus dieser, gerade für die Praxis so wichtigen Aufgabe, ergibt sich die Frage, die dieser Arbeit zugrunde liegt: Wie kommt die Schmerzempfindung im Zahnbein zustande. Auf Grund der Erfahrung ist sie leicht und klar zu beantworten, denn die Berührung von freiliegendem Dentin führt oftmals zu einem sehr unangenehmen Schmerz und auch das Arbeiten mit Hand- oder Maschineninstrumenten ist nach Entfernung des Schmelzes mit mehr oder weniger schmerzhaften Sensationen für den Patienten verbunden. Man kann daraus schließen, daß innerhalb des Zahnbeins nervöse Strukturen vorhanden sein müssen, die die von außen kommenden Einflüsse aufnehmen und als Schmerzempfindung weiterleiten. Das ist aber eine Annahme, die letztthin auf der klinischen Beobachtung beruht. Es ist verständlich, daß man sich mit dieser Annahme nicht begnügte.

Als *Boll*, *Morgenstern* u. a. mit großer Wahrscheinlichkeit nachzuweisen glaubten, daß das Zahnbein von nervösen Strukturen durchzogen sei, entwickelte sich eine heftige wissenschaftliche Diskussion über das Für und Wider, wobei *Walkhoff* deren bedeutendster Gegner war. Erst in den dreißiger Jahren schienen diese Meinungsverschiedenheiten durch die Arbeiten von *Dieck* und *Tojoda* entschieden zu sein.

Es war selbstverständlich, daß auch deren Ergebnisse einer weiteren Prüfung unterzogen wurden, um das Schmerzproblem endlich zu lösen, denn dieses ist mit dem Nachweis allein, daß nervöse Strukturen im Zahnbein vorhanden sind, noch nicht völlig geklärt. Der Grund hierfür liegt in weiteren Untersuchungen und Überprüfungen, bei denen der Nachweis von Nerven nicht mit genügender Sicherheit erbracht werden konnte. So ist die vor hundert Jahren gestellte Frage noch immer nicht beantwortet.

Für den augenblicklichen Stand der Lage dürfte es bezeichnend sein, wenn sich *A. J. Held* in seinem Buch über die mikroskopische Struktur des Zahnes in dem Kapitel, das der Innervation des Dentins gewidmet ist, folgendermaßen äußert: „Unter den widersprechendsten Problemen auf dem Gebiet der Struktur und der Mikrophysiologie des Dentins steht die Innervation dieses Gewebes. Ein großer Teil der Autoren verneint die Existenz von Fibrillen in der Grundsubstanz des Dentins. Fibrillen, die man durch Silberimprägnation sichtbar machen kann, sind nicht spezifisch für nervöse Fibrillen, denn präkollagene und kollagene Elemente absorbieren ebenfalls Silber. Dies ist die Meinung der Autoren, die die Natur nervöser Fibrillen, wie sie von *Dependorf* beschrieben wurden, leugnen. Dennoch scheint das Ergebnis verschiedener Arbeiten von *Dieck*, *Pallazi* und *Zerosi* wirklich nervöse Fibrillen zu bestätigen, die in die Dentinkanäle eindringen und von einem großen myelinfreien Plexus ausgehen, der sich um die Odontoblasten erstreckt. Dies erklärt auch die schmerzhaften Sensationen, wenn verschiedene Eingriffe am Dentin vorgenommen werden. Die andern erkennen die Innervation des Dentins nicht an, wobei sie die Sensibilität des Gewebes durch eine Irritation der Kanalfasern erklären, die wiederum diese Irritation an die Nervenenden der Pulpa vermitteln.“ (Eigene Übersetzung.)

Dieser kleine Auszug zeigt deutlich die heutige Situation. Wenn auch in der Zeit nach Erscheinen des Buches noch mehrere Arbeiten veröffentlicht wurden, so hat sich nichts Grundlegendes geändert.

Material und Methode eigener Untersuchungen

Als Ausgangsmaterial für die Untersuchungen wurden menschliche Zähne verwendet, die an der hiesigen Klinik extrahiert worden waren. Sie durften klinisch keine Karies aufweisen. Ferner wurden retinierte und verlagerte Zähne verarbeitet, sofern sie röntgenologisch und klinisch keinen pathologischen Befund erkennen ließen.

Außerdem wurden Unterkiefer von Föten einer Untersuchung unterzogen. Sie wurden mir von der Universitäts-Frauenklinik, dem Gerichtsmedizinischen und dem Pathologischen Institut der Universität zur Verfügung gestellt. Ich möchte an dieser Stelle Herrn Professor *Dyroff*, Herrn Professor *Weinig* und Herrn Professor *Müller* für die freundliche Unterstützung und für ihr Entgegenkommen danken.

Die Unterkiefer wurden sobald als möglich nach dem Ableben exartikuliert. Das Alter der Föten betrug zwischen 16 Wochen und neun Monaten. Bei meinen späteren Angaben haben wir auf die sonst übliche Feststellung der Körperlänge verzichtet, denn wesentlich ist allein der Zeitpunkt des Beginns der Dentinbildung, der für die verschiedenen Zähne unterschiedlich ist. Es handelt sich nicht um den Zusammenhang zwischen der Zahnentwicklung und dem Lebensalter, sondern es sollte untersucht werden, ob zu dem Zeitpunkt der Dentinentwicklung bereits eine Neurotisation der Keimpulpa stattgefunden hat und inwieweit diese mit dem Dentin in Verbindung steht. Deshalb erübrigten sich auch Untersuchungen vor dem IV. Monat.

Fixierung

Die frisch extrahierten Zähne wurden in 10%igem Formol fixiert. Die Sorge um das zu langsame Eindringen der Fixationsflüssigkeit und die darauf zurückzuführenden postmortalen Veränderungen ließ uns verschiedene Verfahren durchprüfen. So wurde einmal der Zahn im Schraubstock zerquetscht, damit die Flüssigkeit zumindest die ersten Schichten des Dentins besser und schneller imprägnieren könne, ein andermal wurde die Wurzelspitze abgeschnitten und die Krone bis zur Eröffnung der Pulpahöhle präpariert, was zur Vermeidung von Hitzebildung durch Arbeiten in physiologischer Kochsalzlösung geschah. Schließlich wurde der Schmelz unter den gleichen Bedingungen völlig abgeschliffen. Alle diese Methoden zeigten keinen erkennbaren Unterschied gegenüber der Fixierung nicht vorbehandelter Zähne. Zusätze zur Fixationsflüssigkeit wurden nur in den Fällen gebraucht, bei denen es sich um die Überprüfung der Methoden von *Tojoda*, *Larsell* und *A. Weber* handelte. Die Dauer der Fixierung betrug zwischen 8 Tagen und 1 Jahr. Hierzu muß bemerkt werden, daß es den Anschein hatte, als ob die Nerven der Zähne, die länger fixiert wurden, d. h., die länger als 2–3 Monate in der Lösung lagen, sich besser versilberten als die Nerven der Zähne, die nur 1 oder 2 Wochen der Fixierung unterworfen waren.

Entkalkung

Die Entkalkung beschäftigt ebenfalls schon seit Jahren die zahnärztlichen Histologen. Es wurden hierzu viele Methoden ausgearbeitet, die jede für sich gewisse Vorzüge in sich bergen mag. Wir haben uns an die altbewährte Methode gehalten und mit 10%iger Ameisensäure oder 7%iger Salpetersäure entkalkt. Es schien, als ob die Ameisensäure, wenn auch langsamer, so doch am schonendsten die Lösung der Kalksalze bewirkte. Es sollte hier ja auch nicht darum gehen eine rasche Entkalkung zu erzielen, sondern ein möglichst geschontes Objekt für die weitere Verarbeitung zu erhalten. Die Entkalkung dauerte bei der Ameisensäure meist etwas über 14 Tage bis zu drei Wochen. Sie war abhängig vom Alter und der Größe des Zahnes. Die Ergebnisse waren bei beiden Lösungen gleichwertig.

Nach Entkalkung mit Salpetersäure wurden die Zähne und die Unterkiefer zur Neutralisation für 24 Stunden in eine 5%ige Natr.-sulf.-Lösung gegeben. Nach Entkalkung mit Ameisensäure verwendeten wir jedoch eine gesättigte Lithium-Karbonat-Lösung. Anschließend wurde das Material mindestens 24 Stunden in fließendem Leitungswasser gewässert.

Nach Abschluß dieser Vorbehandlung wurden Gefrier- und Zelloidinschnitte von 15–20 μ durchgeführt, wobei den Gefrierschnitten der Vorzug zu geben ist.

Versilberung

Diese wurde hauptsächlich nach einer abgeänderten Methode von *Bielschowsky-Groß* durchgeführt, an deren Vorgang sich *Ph. Stöhr jun.* bei seinen Versilberungen ebenfalls gehalten hat. Im Laufe der Arbeit hat sich gezeigt, daß kleine Abweichungen erforder-

lich waren. Es ist Tatsache, daß die Versilberung von Geweben von unendlich vielen zunächst nebensächlich scheinenden Dingen abhängig ist. Diese sind jedoch für den Enderfolg von ausschlaggebender Bedeutung. Man sollte aber deshalb nicht gleich von „Launenhaftigkeit“ sprechen, sondern zunächst immer nach der Ursache derselben suchen. Es handelt sich bei diesem Vorgang nicht um irgend etwas Willkürliches, sondern um eine physikalisch-chemische Reaktion, die nach ganz bestimmten Gesetzen abläuft. Die Ergebnisse sind außerdem abhängig von der Temperatur, von der Reinheit der verwendeten Lösungen und deren Zubereitung, von der Schnittdicke und dem Zustand der einzelnen Gewebsarten. Letztere sind für diese Arbeit wichtig, da man es einmal mit einem Weichgewebe (Pulpa), das andere Mal mit einer Hartschubstanz (Dentin) zu tun hat, die erst entkalkt werden mußte.

Die Versilberung selbst wurde wie folgt vorgenommen:

1. Nach dem Auffangen der Schnitte in Aqua dest. Einbringen derselben in eine 20%ige AgNO_3 -Lösung im Dunkeln für die Dauer von $\frac{1}{2}$ —2 Stunden.

oder Einbringen in eine 2%ige AgNO_3 -Lösung für die Dauer von 24—30 Stunden.

- oder Einbringen in eine 10%ige AgNO_3 -Lösung für die Dauer von höchstens 24 Stunden.

(Die letzte Variante hat sich bei voll entwickelten Zähnen gut bewährt.)

2. Auswaschen der Schnitte in mehreren Petrischalen in Leitungswasser und 10%igem Formol zu gleichen Teilen. Es dürfen dabei keine weißlichen Schlieren mehr auftreten. Dauer je nach Dicke der Schnitte etwa 20 Minuten.
3. Reduktion durch Einbringen in eine ammoniakalische Silberlösung (Herstellung: zu einer 20%igen AgNO_3 -Lösung wird tropfenweise Ammoniak zugegeben bis der Niederschlag verschwindet und die Lösung klar erscheint. Ergibt sich bei der Kontrolle unter dem Mikroskop, daß sich das Bindegewebe stark mitfärbt, kann man noch ein oder zwei Tropfen Ammoniak zugeben.) Die Reduktion selbst führt man in einem Uhrglas durch. Die Dauer beträgt zwischen 3 und 15 Minuten.
4. Wässern in einer Lösung Aqua dest. zu Ammoniak = 4 : 1.
5. Einbringen in eine Goldchloridlösung, hergestellt aus 5—7 ccm Aqua dest. unter Zugabe von 4—5 Tropfen 1%igem Goldchlorid, wobei die Lösung einen leicht gelbgrünlichen Schimmer erhalten soll. Darin belassen bis der Schnitt eine feine gelblichbraune Tönung angenommen hat. Dauer etwa 2—5 Minuten.
6. Auswaschen in Aqua dest., dem 1 Tropfen Essigsäure zugesetzt wurde.
7. Überführen in eine Lösung von 10%igem Fixiernatron für die Dauer von 3 bis 4 Minuten.
8. Auswaschen in Aqua dest.
9. Einbringen in die aufsteigende Alkoholreihe bis zu 96 %.
10. Eintauchen in Karbolxylol, sofort Aufziehen und Eindecken.

Es war selbstverständlich, daß auch das Verfahren von *Tojoda* überprüft und ausgeführt wurde. Ebenso wurde noch eine weitere Methode ausprobiert, wie sie *Thomas* und *Hollinshead* anwandten, und zwar nach den Angaben von *Larsell*. Diese Verfahren zeigten keine besseren Ergebnisse als die oben angegebene Methode.

Ferner wurde mir von *A. Weber* sein Färbefahren persönlich übermittelt, wofür ich ihm an dieser Stelle meinen Dank aussprechen möchte. Es handelt sich um eine sehr langwierige und diffizile Methode, die vor allem das Terminalretikulum zur Darstellung bringen soll.

Das Verfahren mag bei der Verwendung von reinem Weichgewebe manchen Vorteil bieten, doch zeigte es bei der Färbung von Hartschubstanzen keinen erkennbaren Unterschied gegenüber der variierten Methode von *Bielschowsky*. Aus diesem Grunde wurde ebenfalls auf eine weitere Auswertung dieses Verfahrens verzichtet.

Bei Durchsicht der Literatur erkennt man, daß bei allen Arbeiten jeder Autor sich eine eigene Methode erarbeitet und zurechtgelegt hat. Das Wesentliche ist jedoch, daß man mit „seiner“ Methode voll und ganz vertraut ist und ihre Tücken kennt. Bis dahin ist es ein langer und dornenvoller Weg, um schließlich einige verwertbare Ergebnisse zu erhalten.

Eigene Befunde

Zu Beginn der Arbeit wurde die Art und Weise der Herstellung der Präparate besprochen. Dieses Verfahren mag zunächst verhältnismäßig einfach erscheinen. Wenn man erfährt, über wie lange Zeit sich die einzelnen Autoren mit den jeweiligen Arbeitsgängen beschäftigt haben, bis sie zu den von ihnen veröffentlichten Ergebnissen gekommen sind, wird man nicht erstaunt sein, daß nur etwa 1 % der gefärbten Schnitte einer Auswertung zugeführt werden konnten.



Abb. 1. Übersichtsbild der nervösen Versorgung einer Kronenpulpa. 16 Jahre. Entkalkung: Salpetersäure. Färbung: Bielschowsky-Groß. Vergrößerung: 3,5 : 1.

Als erstes muß man sich ein genaues Bild über die nervöse Versorgung der Pulpa machen, bevor man versucht die Nerven im Dentin weiter zu verfolgen, denn der nachgewiesene Zusammenhang zwischen den Nervenfasern der Pulpa und denen des Dentins ist das wesentliche Beweismoment für eine selbständige fortlaufende Reizleitung vom Dentin zum entsprechenden Ganglion.

Wenn es gelingt, eine Nervenfärbung der Pulpa durchzuführen, ohne Mitfärbung der bindegeweblichen Anteile, so ist man immer erstaunt über die Fülle und die Mannigfaltigkeit dieser Bilder (Abb. 1).

Die hauptsächliche Auffaserung der einzelnen Nervenbündel in der Pulpa erfolgt erst kurz unterhalb der Odontoblastenschicht. Hier zeigt sich, daß man es mit einem fast unentwirrbaren Netz feiner und feinsten Fasern zu tun hat, die noch zum größten Teil markhaltig sind und erst, wenn sie in die Odontoblastenschicht eintreten, ihre Markscheide verlieren.

Tojoda verneint in seiner Arbeit ein Nervengeflecht innerhalb dieser Schicht. Er gibt an, daß sich die an der *Weilschen* Zone eintretenden Nervenfasern wohl aufzweigen, sich aber dann den Odontoblasten und ihren Fortsätzen anlegen. Dem widerspricht die Ansicht von *Papa*, *Berkelbach* und *Catania*. Letzterer hat angegeben, daß die Nervenfasern die Odontoblasten korbartig umfassen.

Die nachfolgenden Aufnahmen, von einem einzigen Präparat bei gleichbleibender Einstellung in drei verschiedenen optischen Ebenen aufgenommen, zeigen deutlich, wie vielfältig und mannigfach das Nervenetz zwischen den Odontoblasten liegt und dort verzweigt ist.

Auf Abb. 2a sieht man von rechts eine Nervenfaser kommen, die sich mehrmals aufzweigt und mit ihren Ästen zwischen die Odontoblasten eindringt. Auf Abb. 2b sieht man wie die einzelnen Äste der Nervenfasern sich um die Odontoblasten legen. Auf Abb. 2c kann man deutlich erkennen, wie eine abgezweigte Faser in die Zelle eindringt und dort bis an den Kern herankommt. Den Beweis, daß diese Nervenfaser auch tatsächlich in den Odontoblasten eingedrungen ist, erblicke ich in der Tatsache, daß der Zellkern und die dicht bei ihm befindliche Nervenfaser auf der gleichen optischen Ebene liegen.

Das eigenartige Verhalten einer Nervenfaser in der Nähe eines Odontoblasten zeigt Abb. 2d. Hier sieht man eine feine Nervenfaser in einem großen Bogen etwas rückläufig auf den Kern eines Odontoblasten zustreben und sich direkt in dessen Nähe auf-

Abb. 2a, b, c, d. $\overline{12}$, 25 Jahre. Entkalkung: Salpetersäure. Färbung: Bielschowsky-Groß. Vergrößerung: 540 : 1.



Abb. 2a. Zuführende Nervenfaser am unteren Rand der Odontoblastenschicht.

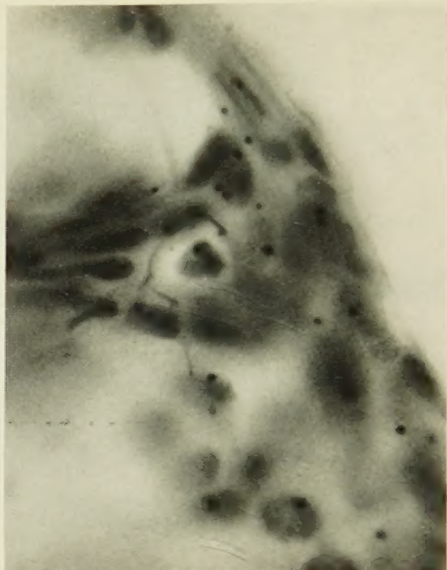


Abb. 2b. Mehrfache Aufzweigung dieser Faser und korbbartige Umfassung einzelner Odontoblasten.

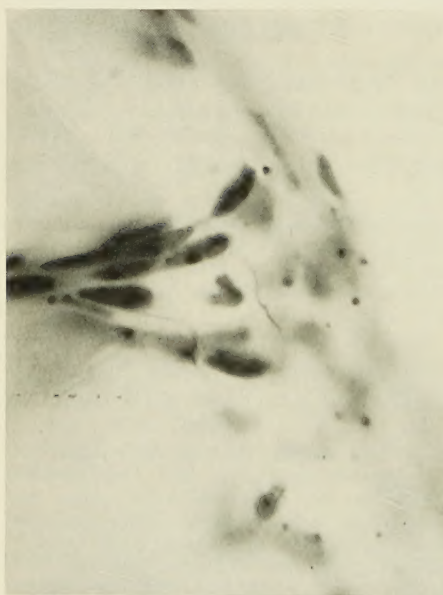


Abb. 2c. Eindringen einer einzelnen Faser in einen Odontoblasten bis in die Nähe eines Kernes.
(Optisch eine Ebene.)



Abb. 2d. Eindringen einer einzelnen Nervenfasers in einen Odontoblasten und Aufgabelung derselben in Kernnähe. $\overline{12}$, 25 Jahre. Entkalkung: Salpetersäure. Färbung: Bielschowsky-Groß. Vergrößerung: 900 : 1.

Abb. 3a. Aufgabelung einer Nerven-
faser in der Nähe eines Odontoblasten-
fortsatzes.

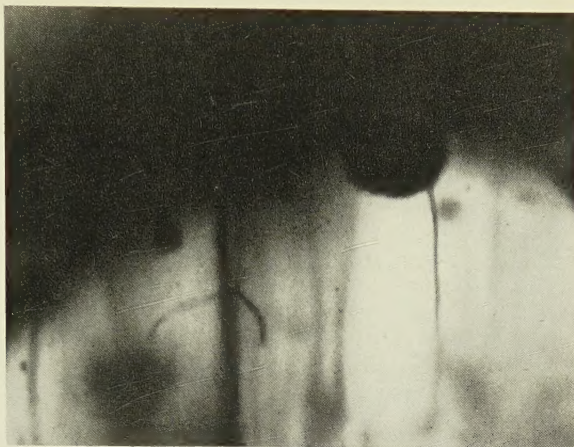


Abb. 3b zeigt den weiteren Verlauf mit
seiner rückläufigen Tendenz und einer
kolbenartigen Verdickung.

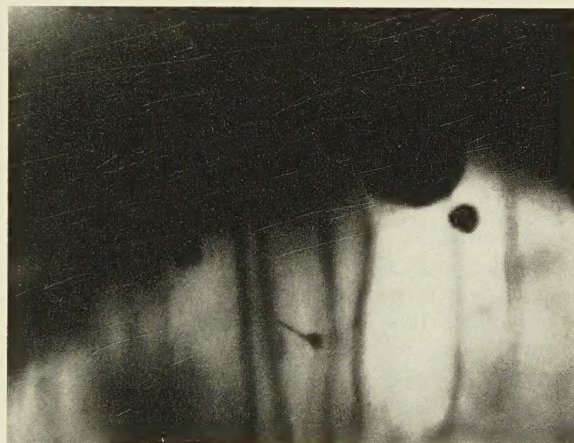


Abb. 3c klärt diese Verdickung als eine
weitere Gabelungsstelle auf.



Abb. 3 a, b, c. 3J, Entkalkung: Ameisensäure. Färbung: Bielschowsky-Groß. Vergrößerung: 540 : 1.

gabeln (optisch eine Ebene). Man könnte zunächst annehmen, es handle sich um eine Endöse, doch läßt sich die Faser, die bogenförmig weiterläuft, durch Änderung der Feineinstellung am Mikroskop weiter verfolgen. Es ergibt sich daraus folgender Befund: Die Nervenfasern dringt in den Odontoblasten ein, gabelt sich in der Nähe des Kernes auf, vereinigt sich wieder und verläßt als einzelne Faser die Zelle.

Es steht somit fest, daß einzelne Nervenfasern im Bereich der Odontoblasten in dieselben eindringen (Beweis Abb. 2c).

Weiter konnte beobachtet werden, daß einzelne Nervenfasern mit den *Tomesschen* Fasern, d. h. mit den Odontoblastenfortsätzen in das Prädentin eingedrungen sind. Der Verlauf dieser Fasern soll im folgenden beschrieben werden.

Ob das Eindringen der Nervenfasern in die Prädentinschicht innerhalb der Odontoblastenfortsätze oder auf bzw. entlang derselben erfolgt, konnte nicht mit Sicherheit festgestellt werden. Es zeigte sich jedoch, daß die Nervenfasern schon nach kurzem Verlauf bogenförmig von den Odontoblastenfortsätzen abzweigen und eine rückläufige Tendenz aufweisen. Die Abzweigung erfolgt meist schon im ersten Drittel der Prädentinschicht, ihr rückläufiger Bogen kann manchmal bis an die Pulpa heranreichen.

Bei den folgenden drei Schichtaufnahmen (Abb. 3a, b, c) ist deutlich die mehrfache Verzweigung und der Querverlauf erkennbar.

Die auf den Abbildungen erkennbare Nervenfasern kommt aus der optischen Tiefe, verzweigt sich in der Nähe eines deutlich geschwärmten Odontoblastenfortsatzes und zeigt nach ihrer Aufspaltung eine rückläufige Tendenz, wobei der rechte Arm sich nochmals aufzweigt und einen Ast quer zur Verlaufsrichtung der *Tomesschen* Fasern abgibt (Abb. 3b). Dieser Ast zeigt eine knospenförmige runde Verdickung, die einer Endplatte ähnlich sieht. Betrachtet man jedoch die nächste Schicht (Abb. 3c), so erkennt man, daß es tatsächlich nur eine Verdickung ist, nach der die Fibrille weiter nach rechts über den Odontoblastenfortsatz hinwegzieht und in der Tiefe verschwindet.

Am Übergang vom Prädentin in das Dentin konnten keine Nervenfasern nachgewiesen werden.

Wie verhält es sich nun mit den nervösen Strukturen im Dentin selbst? In der Grundsubstanz konnte in keinem einzigen Präparat auch nur ein Anhalt für ihr Vorhandensein gefunden werden. Anders steht es mit dem Inhalt der Dentinkanäle. In diesen konnten mehrfach stark versilberte Fasern festgestellt werden. Die große Schwierigkeit bestand darin, zu unterscheiden, ob es sich bei diesen geschwärmten Gebilden um Teile der *Tomesschen* Faser oder tatsächlich um nervöse Gebilde handelt. Dies konnte nicht mit Sicherheit entschieden werden.

Auf Abb. 4 erkennt man ein geschwärmtes Faserbündel in einem Dentinkanale, das zopfartig verflochten und mehrmals unterbrochen ist. Hierbei dürfte es sich sicher um Teile der *Tomesschen* Faser handeln, da aus den elektronenmikroskopischen Untersuchungen bekannt ist, daß sich die Odontoblastenfortsätze aus einem dicken Fasergeflecht zusammensetzen (*Frank*). Den zwei sehr feinen Fasern in dem angekreuzten Kanälchen könnte man eine nervöse Qualität noch eher zusprechen, aber auch sie müssen als angefärbte Teile des Odontoblastenfortsatzes angesehen werden, wenn man ihren Verlauf in Richtung Pulpa weiter verfolgt.

Ähnliche Strukturen, manchmal etwas wandständiger verlaufend, konnten mehrfach gefunden werden.

Die eben beschriebenen Fasern befanden sich alle im ersten Drittel des Dentins in der Nähe der Prädentin-Dentingrenze.

Auf Abb. 5 sind nun Fasern dargestellt, die sich von den bisher beschriebenen durch ihren Verlauf unterscheiden und aus der Mitte des Dentinkernes stammen. Sie schlängeln sich fast wandständig in langgezogenen Spiralen innerhalb der Dentinkanäle in Richtung auf den Schmelz zu und geben kleine Seitenäste ab, die ebenfalls an der Kanalwand zu liegen scheinen, aber quer zur Längsrichtung des Kanälchens verlaufen. Man kann hier von einer gewissen Übereinstimmung mit der Auffassung und den Befunden *Tojodas* sprechen, der behauptet, daß die die *Tomessche* Faser begleitende Nervenfasern Seitenäste abgibt, die den Odontoblastenfortsatz umfassen. Trotzdem halte ich auch diese Gebilde nicht für nervöse Fasern, da ihr sehr stark geschlängelter Verlauf und ihre vielen Abzweigungen innerhalb des Dentinkanals nicht ihrer Funktion entsprechen.

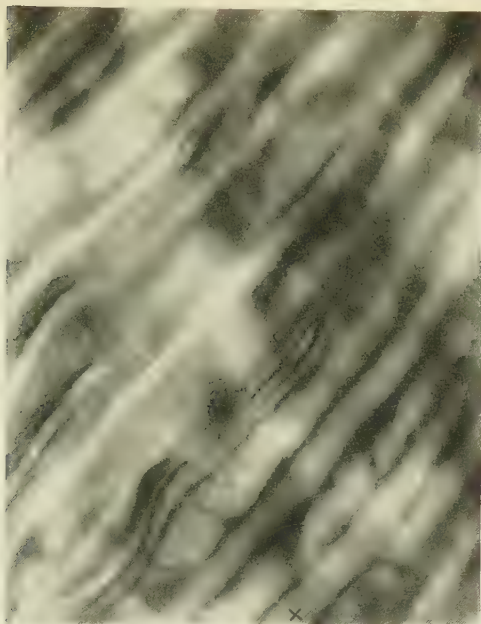


Abb. 4. Zopfförmig verschlungene Fasern in einem Dentinkanälchen, zwei einzelne parallel verlaufende Fasern in dem mit x bezeichneten Kanälchen. [J], 25 Jahre. Entkalkung: Salpetersäure. Färbung: Bielschowsky-Groß. Vergrößerung: 712 : 1.



Abb. 5. Stark geschwängelter Faserverlauf in einem Dentinkanälchen mit mehrfachen Abzweigungen innerhalb desselben. [J], 45 Jahre. Entkalkung: Ameisensäure. Färbung: Bielschowsky-Groß nach Zelloidin-einbettung. Vergrößerung: 750 : 1.

Die nächsten Abbildungen zeigen Fasern, die sich vor allem durch ihre Stärke von den vorhergehenden unterscheiden. Auch die Grenzen der Dentinkanälchen sind durch die Schwärzung ihrer Ränder besser hervorgehoben, wenn auch die Odontoblastenfortsätze an verschiedenen Stellen leicht angefärbt sind. Der Verlauf dieser Fasern ist spiralförmig und daher photographisch schwer zu erfassen. Es gelingt deshalb selten sie über längere Strecken darzustellen. In den angekreuzten Dentinkanälchen der folgenden Abbildungen kann man Teile dieser hauchdünnen Gebilde erkennen, die sich innerhalb des Lumens der Kanälchen emporwinden.

Auf Abbildung 6 sieht man deutlich eine feine Faser und ein kurzes Stück des angefärbten Odontoblastenfortsatzes in demselben Kanal.

Die Abbildung 7 zeigt dies noch deutlicher. In dem mit „x“ bezeichneten Kanal verläuft eine schwach geschwärzte Tomessche Faser, die eine geringe postmortale Schrumpfung zeigt und im ersten unteren Drittel ihre Anfärbbarkeit verliert. Von diesem Punkt aus erscheint scharf konturiert eine dünne spiralförmige Faser, die sich nach kurzem Verlauf mit dem Dentinkanälchen in der Tiefe des Schnittes verliert. In dem mit „xx“ gekennzeichneten Kanal ist in der Mitte eine Faser zu sehen, die durch ein Gebilde anderer Fasern zieht, das man mit einem Ranvierschen Schnürring vergleichen kann. Es darf aber angenommen werden, wenn sich nervöse Elemente innerhalb eines Dentinkanälchens befinden, daß diese nicht derartige Formen annehmen. Es dürfte sich demnach wie bei allen anderen angefärbten Fasern um argyrophile Strukturen handeln, die aber mit der nervösen Versorgung nichts zu tun haben. Die beiden aneinanderstoßenden Konturen müssen daher Teile des Odontoblastenfortsatzes sein, der an dieser Stelle eingeschnürt ist. Der Zustand der Segmentierung von Odontoblastenfortsätzen ist durch die pathologische Histologie der Karies bekannt. Hier handelt es sich wahrscheinlich um eine postmortale Veränderung des Kanalinhaltes.

Ein weiteres Bild dieser Art zeigt die Abbildung 8 in dem angekreuzten Dentinkanälchen. Auch in den anderen Kanälchen sind Teile der schon in den vorhergegangenen Abbildungen beschriebenen Fasern sichtbar. Ich glaube, daß auch die in den Abbildungen 6, 7 und 8 dargestellten Fasern keinen nervösen Charakter haben und dem Faserbündel der Odontoblastenfortsätze zugeordnet werden müssen.



Abb. 6. Das mit x bezeichnete Kanälchen zeigt im unteren Drittel einen schwach angefärbten Odontoblastenfortsatz aus dem eine feine Fibrille kommt, die sich nach oben wieder verliert. [4, 16 Jahre. Entkalkung: Ameisensäure. Färbung: Bielschowsky-Groß. Vergrößerung: 675 : 1.



Abb. 7. Das mit x bezeichnete Kanälchen zeigt eine einzelne Faser, dagegen das mit xx bezeichnete mehrere Fasern aufweist, derselbe Zahn wie Abb. 6. Vergrößerung: 675 : 1.

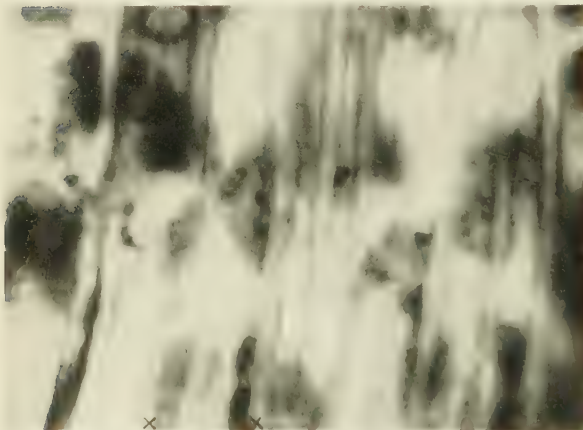


Abb. 8. Die beiden angekreuzten Kanälchen lassen ein feines Fasergeflecht erkennen. [4, 16 Jahre. Entkalkung: Ameisensäure. Färbung: Bielschowsky-Groß. Vergrößerung: 675 : 1.

Zum Abschluß dieses Kapitels mögen noch zwei Aufnahmen folgen, die den Untersuchungen über die Innervation der Zahnkeime entnommen sind. Abbildung 9 zeigt eine Aufnahme der Keimpulpa in der 36. Fötalwoche. Man erkennt hier neben einem Gefäß eine schön gefärbte Nervenfasern, die fast über die ganze Abbildung hinwegläuft. Die Kerne der sternförmigen Zellen sind ebenfalls geschwärzt und die Zellausläufer angedeutet, wodurch eine Unterscheidung möglich wird.

Bild 10 zeigt einen Nervenplexus innerhalb der Odontoblastenzone eines 9 Monate alten Föten. Einzelne Fibrillen sind zu erkennen, die in Richtung des Prädentins ziehen.

Das Prädentin hat sich nicht angefärbt, dagegen ist das Dentin in der linken unteren Ecke des Bildes wiederzuerkennen.

Kann man im Dentin mit Sicherheit nervöse Fasern von bindegewebigen unterscheiden? Diese Frage muß man sich für die Beurteilung der Präparate (Abb. 4—8) stellen. Als sicherstes Verfahren hierfür kommt die Technik der Polarisation in Frage. Wir wissen, daß die Nervenfasern einachsige doppelbrechend sind, d. h. sie sind in ihren



Abb. 9. Eine einzelne Nervenfasern innerhalb der Keimpulpa. [5, 36. Fötalwoche. Entkalkung: Salpetersäure. Färbung: Bielschowsky-Groß. Vergrößerung: 540 : 1.



Abb. 10. Nervengeflecht innerhalb der Odontoblastenzone eines Zahnkeimes. [4], 9. Fötalmonat. Entkalkung: Salpetersäure. Färbung: Bielschowsky-Groß. Vergrößerung: 375 : 1.

kleinsten Teilen nach einer Richtung geordnet und lenken durch diese Ordnung einen Lichtstrahl, der linear polarisiert ist, in elliptisch polarisiertes Licht um. Gleichzeitig wissen wir aber auch, daß alle anderen bindegeweblichen Strukturen und besonders die präkollagenen Fasern ebenfalls doppelbrechend sind. Es ließe sich nun polarisationsoptisch ein Unterschied zwischen beiden Strukturen, d. h. von nervösen und bindegeweblichen feststellen, wenn nicht die Dicke der Präparate (entkalktes Dentin), die Färbung und die benötigte starke Vergrößerung soviel Licht absorbieren würden, daß eine Messung nicht mehr möglich ist. Somit fällt im Bereich des Dentins dieses Verfahren aus.

Die andere Möglichkeit, die dargestellten Fasern als nervöse Elemente zu beurteilen, beruht lediglich auf einer gewissen Erfahrung. Man beachtet die Art der Versilberung, den Verlauf und die Form der Faser. Vergleichsmöglichkeiten zwischen nervösen und bindegeweblichen Strukturen sind in der Pulpa ausreichend vorhanden. Bei einiger Übung gelingt es, selbst in einem sehr stark angefärbten Bindegewebe einzelne Nervenfasern herauszufinden.

In einigen Fällen zeigten die nervösen Fasern knopfförmige Auftreibungen, die sich perlschnurartig aneinanderreihen (siehe auch die Arbeit von *Tojoda*). Es dürfte sich dabei um Kunstprodukte handeln, die durch den langwierigen Vorgang der Versilberung entstehen können.

Ob es nun Quellungsvorgänge sind (*Feyrter*), die durch die Einwirkung des Formaldehyds auf die Lipide entstehen können, oder ob es sich um einen Gerbungsvorgang bei der Reduzierung der Silberionen handelt, der die Schrumpfung in der Struktur bewirkt, mag dahingestellt sein. Durch diese künstlich hervorgerufenen Veränderungen kann es aber auch zu Verwechslungen mit sogenannten „Endknospen“ kommen.

Eine andere Erklärung dieser Zustandsbilder kann man finden, wenn man sich mit der Morphologie der einzelnen Nervenfasern näher beschäftigt, wie dies von *Schümmel-*

jeder, Muralt und Cajal in ihren diesbezüglichen Arbeiten geschehen ist. In Abbildung 2 der Arbeit von Schümmelfeder wird man an die perlschnurartigen Bildungen bei der Versilberung erinnert, wobei es sich aber um die Gerüstteile einer Fibrille handelt, die im Fluoreszenzmikroskop dargestellt wurden. So besteht die Möglichkeit, daß entweder durch postmortale Veränderungen oder durch den chemischen Eingriff der Färbung, die zwischen den Gerüstteilen liegenden Strecken gewissermaßen veröden und damit das verbleibende Gerüst selbst als kolbige Auftreibung in Erscheinung tritt.

An dieser Stelle mag noch kurz das „Terminalreticulum“ besprochen werden. Wenn man die Gedankengänge von Ph. Stöhr jun., Boeke und Feyrter verfolgt, die sich vor allem auf das vegetative Nervensystem beziehen, kann man bei allen eine gemeinsame Linie bei der Betrachtung des Terminalreticulus erkennen. Wenn dabei die Meinungen nicht ganz miteinander übereinstimmen, so ist das eine Auffassungssache, denn bei der Beurteilung des nervösen Endnetzes, d. h. bei der Beurteilung der Verbindung zwischen dem sichtbaren Ende einer Nervenfasern und einer zugeordneten Zelle, stehen wir heute an der Grenze des mit unseren technischen Mitteln gerade noch Erkennbaren. Aus diesem Grunde hat sich jeder Autor eigene Methoden ausgearbeitet, um an dieser Grenze weiterzukommen.

Man versteht unter dem sogenannten Terminalreticulum ein äußerst fein verzweigtes Netz von Fasern, die bis zum Plasma (Stöhr, jun.) bzw. in das Plasma (Boeke) der zu innervierenden Zelle vordringen. Auch Riegele nimmt an, daß der Achsenzylinder des Terminalnetzes intraplasmatisch eingelagert ist. Baumann glaubt, daß dieses terminale Endnetz einem ständigen Wandel seiner Gestalt unterworfen ist. Diese Meinung hat auch Tscheng auf Grund ähnlicher Untersuchungen bestätigt. Er benutzte wie Baumann die Webersche Färbemethode.

Da es sich bei all diesen Untersuchungen nur um Färbungen von Weichgewebe handelte, dürfte klar sein, daß dieses Problem bei Färbungen von Hartgeweben auf noch viel größere Schwierigkeiten stößt, zumal dort die Darstellung von nervösen Fasern allein schon schwer ist.

Bevor an die eigentliche Auswertung der Befunde gegangen werden kann, ist es erforderlich, sich über die bisher erschienenen Arbeiten zu orientieren, um in einer epikritischen Betrachtung die eigenen Befunde und das von anderen Autoren erarbeitete Material zu vergleichen. Erst dann kann man den heutigen Stand unseres Wissens über den Vorgang der Schmerzempfindung im Zahnbein überblicken.

Vergleicht man nun die einzelnen Arbeiten miteinander und verfolgt deren jeweiligen Gedankengänge, so sieht man sich fast der gleichen Situation gegenüber, wie sie um die Jahrhundertwende herrschte. Den gleichen Eindruck erhält man bei dem Studium größerer zusammenfassender Werke über die Histologie der Zähne. Darin werden nur die einzelnen Meinungen einander gegenübergestellt und ganz wenige Autoren bekennen sich selbst zu einer positiven oder negativen Auffassung in bezug auf das Vorkommen von Nerven im Dentin. Wir glauben, daß gerade durch eine gewisse Abstimmung zwischen histologischen und klinischen Befunden sowie der Zahnentwicklung sich einige wichtige Schlüsse ziehen lassen. Wenn auch die Frage der Innervation dadurch noch nicht endgültig beantwortet werden wird, so kann es doch möglich sein, Hinweise zu erhalten, in welcher Richtung die Forschung weiter vorangetrieben werden müßte.

Es wären die erhaltenen Befunde demnach mit folgenden drei Erkenntnissen in Einklang zu bringen.

1. Die Entwicklung des feingeweblichen Aufbaus in der Fötalzeit.
2. Die neuesten Erkenntnisse über die Struktur des Dentins, insbesondere die, die durch das Elektronenmikroskop vermittelt wurden.
3. Die klinischen Grundlagen der Dentinnervation.

Die Arbeit wird in Heft 12/1960 fortgesetzt.

Anschrift des Verfassers: Priv.-Doz. Dr. med. Dr. med. dent. Oskar Bock,
Erlangen, Turnstraße 5—7

Originalarbeiten

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Kommiss. Direktor: Professor Dr. med. Dr. med. dent. H. Paschke)

Über die Innervation des Dentins

Von Oskar Bock

Fortsetzung aus Heft 11/1960, Seite 838

A. Die Nervenentwicklung in der Fötalzeit

Was veranlaßte uns, die Untersuchungen über die Innervation des Dentins an Föten vorzunehmen? Wir gingen von der Hypothese aus: Wenn im Dentin Nerven vorhanden sein sollen, dann müßten diese bereits während der Entwicklung desselben an Ort und Stelle gelegen sein. Ein nachträgliches Einwachsen dürfte, wenn es auch theoretisch möglich wäre, kaum in Frage kommen, denn betrachtet man sich z. B. die Blutgefäße, die im Keimgewebe bedeutend reichlicher vorhanden sind, so werden diese nicht mit in die Hartschubstanz aufgenommen, sondern verdrängt oder abgebaut. Es sind also lediglich die Tomesschen Fasern, die in die Grundsubstanz des Dentins eingebettet werden. Diese sind direkt mit den Odontoblasten verbunden. Der Fortsatz bleibt fest in der Dentinschicht verankert und der Zellkörper wandert mit dem an Stärke zunehmenden Dentinkern zentral nach innen. Dabei hält der Fortsatz den Zusammenhang zwischen dem Entstehungsort und dem derzeitigen Standort des Zellkerns aufrecht. Auf Grund dieser Tatsache müßte eine innige Verbindung zwischen nervösen Fasern und den Odontoblastenfortsätzen bestehen. Alles übrige Gewebe wird, da sich der Innenraum des Zahnes während seiner Entwicklung verkleinert, systematisch abgebaut, so daß Gefäßsystem und das übrige Bindegewebe, soweit es nicht in die Grundsubstanz übernommen wird, verschwinden. Bei der Betrachtung der Innervation der harten Zahnsubstanz muß man zunächst auf die Genese derselben eingehen. Im IV. bzw. V. Fötalmonat ist die Entwicklung soweit vorangeschritten, daß die Bildung von Hartgewebe beginnt. Zu diesem Zeitpunkt etwa, bei dem die beiden spezifischen Zellreihen noch eng aneinanderliegen, wäre festzustellen, wie weit die nervöse Versorgung dieser Zahnkeime vorangeschritten ist. In der Literatur sind nur wenige Autoren zu finden, die versucht haben, sich hierüber ein genaues Bild zu machen.

Um 1900 war es zunächst *Lind*, dann beschäftigte sich erst nach vielen Jahren 1937 *Hammar* wieder mit der Innervation von Zahnkeimen. 1949 veröffentlichte *Engelberg* seine Forschungsergebnisse auf diesem Gebiet und 1950 *Thomas* und *Hollinshead*.

Schließlich hat auch *Arroill* sich mit diesem Problem beschäftigt. In welchem Alter er Nerven in der Papille gefunden hat, wird von ihm nicht genau angegeben, doch stellt er fest, daß zu Beginn der Mineralisation des Dentins noch keine Neurotisation der Papille stattgefunden hat.

Um einen ungefähren Zeitpunkt der nachweisbaren Innervation der Zahnkeime festzustellen, möchten wir die Arbeiten der drei ersten Autoren und unsere eigenen Befunde miteinander vergleichen. So erscheint die erste nachweisbare Innervierung der Zahnpapille bei

Hammar	im VI. Monat = 24 Wochen
Engelberg	im IV. Monat = 14 Wochen
Thomas und Hollinshead	im VI. Monat = 24 Wochen
Eigenem Befund	im VII. Monat = 28 Wochen

Wie aus dieser Zusammenstellung ersichtlich, wird, mit Ausnahme von *Engelberg* und *Armill*, fast zur selben Entwicklungszeit das Eindringen von Nervenfasern in die Papille beobachtet. Dieser Vorgang dürfte im Zeitraum des VI. Monats stattfinden. Es ist demnach bereits eine kleine Dentinschicht vorhanden. Für endgültig beantwortet möchten wir die Frage noch nicht halten, denn dafür sind die Untersuchungen und Unterlagen zu gering und müßten noch mehrmals bestätigt werden.

Selbst wenn man annimmt, daß bei Beginn der Mineralisierung vorhandene Nervenfasern in die Dentinkanäle eingeschlossen werden, erscheint es fraglich, ob es so viele sind, daß sie für die erhöhte Empfindlichkeit der Schmelzdentingrenze beim vollentwickelten Zahn ausreichen. Wenn im Verlaufe der Zahnentwicklung die Zahl der Nervenfasern zunimmt und dieselben an die Odontoblastenfortsätze angelegt in die Mineralisierung einbezogen werden, ist kaum anzunehmen, daß diese Nervenfasern weiter bis zur Schmelzdentingrenze vorwachsen, während die mit ihnen verbundenen *Tomesschen* Fasern zur gleichen Zeit ihr Wachstum in der entgegengesetzten Richtung fortsetzen.

Diese theoretischen Erörterungen werden erst endgültiges Gewicht bekommen, wenn es gelingt, zur Zeit der Zahnentwicklung im Dentin mit Sicherheit Nervenfasern nachzuweisen. Dies ist bisher noch nicht gelungen. Es ist ferner zu beachten, daß es sich bei den Untersuchungen um Milchzahnkeime gehandelt hat, wobei angenommen wird, daß der Vorgang der Innervierung beim bleibenden Zahn derselbe sein dürfte.

B. Die neuesten Erkenntnisse über den Dentinaufbau

Über den Dentinaufbau wie er sich uns im Lichtmikroskop darstellt, gibt uns das Buch von *Meyer* wohl den besten Aufschluß. Durch die Elektronenmikroskopie bot sich für die Zahnhistologie eine Möglichkeit ihre Befunde zu verbessern.

In Deutschland berichteten 1949 *Hellwig* und *Menke* erstmals über ihre Forschungen mit dem Elektronenmikroskop an Zellfortsätzen im menschlichen Zahnbein. Sie zeigen sehr deutlich einzelne Fibrillen mit einem schräg gewundenen Verlauf, die nach ihren Angaben von einem isolierten „Stammfortsatz“ herrühren. Die beiden Verfasser wollen den Ausdruck *Tomessche* Faser als überholt fallen lassen. Es dürfte sich aber nicht, wie von diesen Autoren angenommen wird, um die Fibrillen der *Tomesschen* Faser handeln, sondern um Fibrillen, die in der Grundsubstanz eingelagert sind. Zu dieser Meinung ist nach eigenen Untersuchungen auch *Helmcke* gekommen. *Syrrist* hat 1949 nachzuweisen versucht, daß die *Tomessche* Faser nicht aus einer kompakten Masse besteht, sondern als ein Kanal oder eine Röhre bezeichnet werden müßte. Mit der damals angewandten Technik konnte er noch nicht mit Sicherheit nachweisen, in welcher Ausdehnung die *Tomessche* Faser den Hohlraum der Grundsubstanz ausfüllt und ob diese einen Aufhängeorganismus im Kanal besitzt oder nicht. Die Anwesenheit von Fibrillen, die transversal zu dem Odontoblastenfortsatz liegen, konnte des öfteren nachgewiesen werden. Ob diese jedoch mit dem Aufhängemechanismus zusammenhängen und somit nur eine funktionelle Aufgabe haben, blieb ungeklärt.

Zwei Jahre später befaßte sich *A. Syrrist* in Zusammenarbeit mit *G. Gustafson* nochmals mit dem Dentin. Die Verfasser haben von den Bruchflächen Abdrücke gemacht. Mit dieser Methode konnte nachgewiesen werden, daß der Odontoblastenfortsatz das Lumen des Kanals ganz ausfüllt und als Röhrengebilde angesehen werden muß. Die beiden Verfasser beschäftigten sich im weiteren mit der Frage eines perifibrillären Raumes und erörterten das Problem der *Neumannschen* Scheide, dem auch der wesentliche Inhalt der Arbeit von *Rouller* gewidmet ist.

1953 bestätigte *Frank* nochmals diese Befunde und gibt in einer schematischen Zeichnung ein sehr instruktives Bild über den gesamten Faseraufbau des Dentins. Die Dicke der einzelnen Fibrillen, aus denen sich die *Tomessche* Faser zusammensetzt, gibt er durchschnittlich mit $0.2 - 0.4 \mu$ an. Sie nehmen von der Pulpa in Richtung Schmelz an Stärke ab. Ihre Hauptorientierung verläuft entlang den Dentinkanälen, die seitlichen Abzweigungen werden aus einer der vielen Fibrillen gebildet, die aus dem Hauptfaserbündel hervorgehen und sich mit benachbarten Abzweigungen vereinigen können.

Die Forschungsgemeinschaft von *Bernik*, *Baker*, *Rutherford* und *Warren* ist bei ihren Untersuchungen, die sich hauptsächlich auf Dentinquerschnitte bezogen, zu folgenden Ergebnissen gekommen:

Der Rand der Tubuli besteht aus der Matrix, die sich aus den protoplasmatischen Fortsätzen der Odontoblasten während der Zahnentwicklung gebildet hat. Diese odonto-

blastischen Fortsätze füllen das Lumen völlig aus. Die Struktur ihrer Substanz ist ähnlich der des Zytoplasmas der Odontoblasten. Der Fortsatz zeigt an verschiedenen Stellen eine Schrumpfung, die auf präparatorische Maßnahmen zurückzuführen ist. Dabei zieht sich der Fortsatz von der Peripherie ab. Diese Schrumpfung wird auf Zusammenziehung des Protoplasmas zurückgeführt.

Als letzte Arbeit dieser Reihe möchten wir den Atlas von *Helmcke* anführen, in dem wohl die instruktivsten Abbildungen gezeigt werden. Es sind zum allergrößten Teil stereoskopische Aufnahmen. Ob es sich nun um Aufnahmen handelt, bei denen der Odontoblastenfortsatz im Kanal liegt oder aus diesem durch die Präparation entfernt wurde, oder um Abdrücke der Strukturen des Odontoblastenfortsatzes mit seinen anhängenden Gebilden in der Masse der Grundsubstanz, kann man bei allen Abbildungen zu einem für diese Arbeit wesentlichen Ergebnis kommen, was auch von *Helmcke* betont wird: Die Odontoblastenfortsätze bestehen aus einem schlauchähnlichen Gebilde, dessen spezifische Struktur nicht festgestellt werden konnte (*Helmcke*). Der Autor verzichtet absichtlich auf Abbildungen mit angedeuteten Strukturen der *Tomesschen* Faser, da er nicht ganz genau unterscheiden konnte, ob es sich um eine Eigenstruktur oder um aufliegende feine Fibrillen handelt. In den Tafeln 14–24 werden jedoch solche der Zellwand aufliegende Fibrillen dargestellt. Tafel 17 möchte ich besonders hervorheben, da sie eine Querstreifung erkennen läßt. Im Gegensatz dazu wird auf Tafel 22 eine organische Faser dargestellt, die sich durch die Präparation aus ihrem noch deutlich sichtbaren Bett herausgelöst hat. Diese Faser zeigt eine etwas geschlängelte Längsrichtung und dürfte eine Stärke von 0,1–0,2 μ haben. Dies entspricht auch den Befunden von *Menke*, *Scott* und *Wyckoff*.

Faßt man die Ergebnisse der verschiedenen Forscher zusammen, so erhält man über den Aufbau der Dentinkanälchen und deren Inhalt ein ziemlich einheitliches Bild.

Die *Tomessche* Faser durchsetzt als Zellfortsatz der Odontoblasten in Form eines schlauchartigen Gebildes in radiärer Richtung das Dentin. Die Eigenstruktur dieses Schlauches, den man mit Zytoplasma ausgefüllt annimmt, läßt sich nicht genau feststellen. Ob sich dieser Fortsatz aus einer Reihe feiner und feinsten Fibrillen zusammensetzt, die das gesamte Lumen ausfüllen, müßten noch weitere Beobachtungen klären. Entlang dem Fortsatz oder auch eng mit ihm verbunden ziehen organische Fasern, die als Abdrücke in der Dentinwand nachweisbar sind. Sie verlaufen zum Teil parallel und zum andern Teil quer zur Richtung des Kanals.

Das Prädentin, das bisher nur von *Helmcke* untersucht worden ist, zeigt fast dieselben Befunde wie das Dentin. Es konnte festgestellt werden, daß der Odontoblastenfortsatz mit mehr organischen Substanzen behaftet ist.

Welche Deutungen und Vermutungen lassen nun die Ergebnisse der elektronenmikroskopischen Forschung in bezug auf die Innervierung des Dentins zu? Die Befunde für sich allein betrachtet, erlauben keinerlei Schlüsse, denn der Nachweis vorhandener Fasern entlang den Odontoblastenfortsätzen besagt keineswegs, daß diese neurogener Natur sein müssen. Man kann aber mit den Befunden der Versilberungsmethode einen Vergleich anstellen und auf diese Weise versuchen, zu einem Ergebnis zu kommen.

Die Frage, woher diese organischen Fasern stammen, konnte mit dem Elektronenmikroskop nicht gelöst werden. Es könnte sich um Reste des kollagenen Grundgerüsts handeln, das die gesamte Grundsubstanz durchzieht, aber in den Dentinkanälchen nicht in die Verkalkung einbezogen wurde. Wir denken hierbei vor allem an die quer zum Kanal verlaufenden Fasern. Eines steht jedoch fest, es befinden sich außer dem eigentlichen Odontoblastenfortsatz noch mehrere organische Fasern im Dentinkanal.

C. Klinische Grundlagen der Dentinnervation

Im letzten Abschnitt sollen die physiologischen Voraussetzungen und Bedingungen festgestellt werden, die für eine Übertragung der auf den Zahn einwirkenden und durch ihn erregten Reize verantwortlich zu machen sind. Dabei muß zunächst untersucht werden, welche Empfindungen überhaupt vermittelt werden und ob es hierbei bestimmte Qualitätsunterschiede gibt.

Vom Zahnorgan werden mechanische, chemische und thermische Reize an das Zentralnervensystem weitergeleitet. Die Wege dafür sind verschieden. So werden alle mechanischen Einwirkungen, wie das Kauen der Nahrung, wohl am Zahn wahrgenommen, doch dient dabei das Zahnbein nicht als „Leitung“, sondern der Aufhängeapparat des Zahnes, das Periodontium, das ausreichend mit Nerven versorgt ist. Dieses gibt den Reiz, der als Schmerz empfunden wird, weiter. Bei thermischen Einflüssen ist der Übertragungsweg ein anderer. Man darf hier zwei Systeme annehmen. 1. Den Aufhänge-

apparat, der durch einfache Wärme- oder Kälteableitung der Zahnschmelzsubstanz erregt wird und 2. die Pulpa. Dabei ist anzunehmen, daß das Zahnbein auch hier nur die Wärme und Kälte weiterleitet und erst die Nerven der Pulpa durch die thermischen Veränderungen erregt werden.

Diese Annahme beruht auf Erfahrung der konservierenden Behandlung von Zähnen. So vergeht z. B. immer eine geringe Zeitspanne, bis der Patient ein Schmerzgefühl äußert, wenn im trockenen Dentin mit hochtourigem Bohrer gearbeitet wird. Dies läßt sich damit erklären, daß die Wärme eine gewisse Zeit benötigt, bis sie durch das Dentin zur Pulpa gelangt. Für diese Annahme spricht auch das Nachklingen des Schmerzes, d. h. der Schmerz wird nach Beendigung des Bohrens noch einige Zeit empfunden, was auf die langsame Abkühlung des Zahnbeins zurückzuführen ist. Man kann diesen Schmerz auch durch Kälteeinwirkung hervorrufen (Chloraethylwattebausch). Ob nun der Reiz durch Wärme oder Kälte entsteht, kann der Patient nicht feststellen. Er gibt jedoch eine ganz andere Schmerzqualität an, wenn es sich um eine Berührungsempfindung handelt, die wiederum von der Tastempfindung bei traumatischer Einwirkung zu unterscheiden ist. Berührung und chemische Agentien wirken als Reiz in gleicher Weise auf das Zahnbein ein, so daß es dem Patienten nicht möglich ist einen Unterschied zwischen Berührungsschmerz und Schmerz durch Säureeinwirkung festzustellen. Aus diesen Tatsachen lassen sich wesentliche und grundlegende Schlüsse ziehen, die für die abschließende Betrachtung von ausschlaggebender Bedeutung sein dürften.

Berührung und chemische Einflüsse, die am Zahnbein zur Wirkung kommen, rufen demnach immer ein und dieselbe Schmerzempfindung hervor, ohne daß festgestellt werden kann, was die eigentliche Ursache des Schmerzes gewesen ist. Folglich gibt es im Zahnbein keine spezifischen Schmerzempfänger.

Es erhebt sich die Frage, wo liegen diese Rezeptoren? Da der Schmelz für keine Reize empfänglich ist, scheidet dieser aus. Jedem Zahnarzt aber ist die Tatsache bekannt, daß er sich, wenn er beim Eröffnen eines Zahnes mit seinem Instrument, gleich welcher Art, an die Schmelzdentingrenze kommt, in der Gegend befindet, die die schmerzempfindlichste der ganzen Hartsubstanz ist. Es ist aber auch bekannt, daß nach Überwindung dieser sehr empfindlichen Schicht im Dentin gearbeitet werden kann, ohne daß wesentliche Beschwerden auftreten und daß bei geschicktem Vorgehen die Pulpakammer eröffnet werden kann, ohne daß der Patient stärkere Schmerzen verspürt. Diese Tatsachen werden bei der Präparation eines Zahnes zur Aufnahme von Füllungen weitgehend ausgenutzt, indem man versucht, an einer Stelle die Schmelzdentingrenze zu überschreiten und unterminierend weiterarbeitet, um von innen heraus wieder an die Oberfläche zu kommen. Damit wird der gefürchtete Bohrschmerz herabgemindert. Bei diesem Vorgang durchtrennt man die „nervösen Leitungsbahnen“, die zu der sehr empfindlichen Schmelzdentingrenze führen. Man darf daher annehmen, daß die Empfänger vor allem in dieser hochempfindlichen Schicht liegen. Sie sind an die organischen Bestandteile des Dentins gebunden. Hierdurch läßt sich auch die geringere Schmerzhaftigkeit in der Tiefe des Dentins erklären, denn im Bereich des Interglobulardentins, also im Bereich der Schmelzdentingrenze befindet sich mehr organische Substanz als in den Dentinkanälen.

Zu dieser Betrachtung müssen noch die Methoden der Dentinanaesthesie herangezogen werden, wobei die Frage zu klären wäre, inwieweit sie mit dieser Theorie in Einklang zu bringen sind. Man verwendet heute hauptsächlich zwei Methoden der Dentinanaesthesie: 1. die chemische und 2. die physikalische. Bei der ersten Methode handelt es sich um ein Einwirkenlassen von chemischen Mitteln auf das freiliegende Dentin. Die Erfolge sind nicht vielversprechend, denn es fehlt allen Mitteln die Tiefenwirkung, d. h. wenn ein Medikament eine zeitlang eingewirkt hat, ist nur eine sehr dünne oberflächliche Schicht schmerzfrei geworden. Meist ist diese Schmerzbeseitigung reversibel. Doch was hier interessiert ist die Frage, was in dem empfindlichen Gewebe vorgegangen ist. Es dürfte sich ein chemischer Vorgang abgespielt haben, der die Erregung oder auch

schon die Ausbildung des Schmerzes hemmt. Die organische Struktur ist durch Aufbringung des betreffenden Mittels so verändert worden, daß sie ihren normalen physiologischen Aufgaben nicht mehr gerecht werden kann. Die Karies bietet hierfür ein Beispiel. Bekanntlich ist die kariöse Zerstörung des Zahnbeins nicht schmerzhaft, denn die von Bakterien gebildeten Säuren wirken so auf die organischen Substanzen ein, daß die Aufnahme der Schmerzerregung beeinträchtigt wird.

Bei den physikalischen Methoden zur Bekämpfung des Dentinschmerzes wird mit Wärme und Kälte gearbeitet, wobei man sich manchmal zusätzlich chemischer Mittel bedient. Ein Beispiel hierfür ist die angewärmte Kohlensäure. Die einfachste physikalische Methode ist die völlige Austrocknung des Zahnbeins. Ein Großteil der mit viel Aufwand hergestellten Apparaturen zur sogenannten schmerzlosen Behandlung des Dentins arbeitet in ihrem Grundprinzip mit der Austrocknung, wobei entweder Kälte, Wärme oder vibrationsfreie Bearbeitung die ausschlaggebenden Faktoren sind. Wir denken hier an das Nondolorgerät, den Carbotherm, den Hohlbohrer (*Herrmann*) und das Sandstrahlgebläse.

Bei diesen physikalischen Methoden wirken Wärme und Kälte nicht allein örtlich, sondern erfassen den gesamten Zahn und seine Umgebung, so daß sich hieraus schwer Schlüsse auf die einzelnen Vorgänge im Dentin ziehen lassen. Die Austrocknung allerdings dürfte durch den Entzug von Feuchtigkeit aus der organischen Substanz ein wesentliches Hemmnis für Aufnahme und Fortleitung des Schmerzes sein.

Bisher wurde das Wort Nerv grundsätzlich vermieden, darum soll nun die Physiologie der Nerven in den zur Debatte stehenden Fragenkomplex aufgenommen werden. Die Nervenphysiologie fußt auf Erkenntnissen der Chemie und der Physik. So haben Physiologen und physiologische Chemiker in Zusammenarbeit mit dem Physiker versucht in die Geheimnisse der Nervleitung einzudringen. Will man diese Ergebnisse zum Nachweis einer nervösen Leitung im Dentin anwenden, so steht man vor einer fast unlösbaren Aufgabe. Sie ist erschwert, weil es sich um einzelne marklose Fasern handelt, und diese in einem Hartgewebe eingebettet sind. Mit welchen Methoden könnte man nun einen Nachweis für diese Feinstrukturen erbringen? Es wäre zunächst an Röntgenaufnahmen nach *v. Laue* zu denken, aber hier treten so große Schwierigkeiten auf, daß eine sichere Auswertung in Frage gestellt ist, denn es handelt sich bei Nerven um eine lebende organische Substanz mit großem Wassergehalt und ferner ist ihre Isolierung bis heute noch nicht möglich. Würde man versuchen den gesamten Odontoblastenfortsatz zu erhalten, müßte erst entkalkt werden, was wiederum eine Strukturänderung der Fasern zur Folge haben würde. Die Möglichkeit der polarisationsoptischen Untersuchung haben wir bereits erwähnt; sie dürfte mit den zur Zeit zur Verfügung stehenden technischen Einrichtungen einer exakten wissenschaftlichen Prüfung nicht standhalten. Es käme ferner der Nachweis der Leitung bzw. eine Reizung der Faser mittels des elektrischen Stromes in Frage. An dieses Problem ist *Annis* bereits herangegangen. Seine Arbeit läßt sich aber wegen technischer Mängel nicht verwerten. Auch ist er in seinen Grundgedanken von anderen Voraussetzungen ausgegangen. Die Schwierigkeit seiner Untersuchungsmethode liegt in der Forderung der Überprüfung einer einzelnen Faser.

Weiterhin wäre noch die Frage der chemischen Analyse zu klären. Ein Dentinblock müßte dabei auf neurogene Substanzen untersucht werden. Es ist dabei an die Methode der Veraschung zu denken. Auch hier würde man, abgesehen von der Schwierigkeit der Analyse kein brauchbares Ergebnis erwarten dürfen, da die nachzuweisenden Mengen zu gering sind. Die letzte Möglichkeit sehen wir in dem weiteren Ausbau der Methoden zur Klärung des Dentinstoffwechsels in der Form wie sie *Spreter v. Kreudenstein* bei seinen Untersuchungen über den Dentinliquor dargestellt hat. Hierbei ließen sich möglicherweise auch Stoffwechselprodukte von Nervenfasern feststellen.

Es steht demnach fest, daß es bis heute mit den uns zur Verfügung stehenden physiologischen, physiologisch-chemischen und physikalischen Verfahren nicht möglich ist,

den einwandfreien Nachweis nervöser Elemente innerhalb des Dentins zu erbringen. Ferner wissen wir, auf Grund reiner Erfahrungstatsachen, daß die höchste Empfindlichkeit des Dentins an der Grenze zum Schmelz liegt und daß diese Empfindung durch Unterbrechung der zur Pulpa führenden Dentinkanälchen aufgehoben, wie auch durch chemische Mittel herabgesetzt werden kann.

Die Innervation des Dentins

Stellt man zusammen, was sich an Positivem auf den Gebieten der Histologie, der Entwicklungsgeschichte und der Physiologie für die Innervation des Dentins ergeben hat, so sind die Ergebnisse doch recht zufriedenstellend. Das größte Gewicht der Forschung lag auf der Histologie, und hier sind auch die besten Ergebnisse erzielt worden. Fast allen Arbeiten auf diesem eben erwähnten Gebiet ist eines gemeinsam. Sie beschreiben, wie Nervenfasern der Wurzel in Bündeln in den Kronenteil der Pulpa hochziehen, sich in demselben mehrfach aufzweigen und in die Odontoblastenschicht einmünden, um dort ein feinfaseriges Netz zu bilden. Dieses Netz konnte auch von uns bestätigt werden. Verschiedentlich wurden in dieser an das Dentin grenzenden Schicht auch Nervenendigungen nachgewiesen. Vor allem *Baud* beschreibt Zustandsbilder eines nervösen Endnetzes im Bereich der Odontoblasten. Es wäre somit bereits in dieser Schicht der direkte Zusammenhang zwischen Nervenfasern und Zellen (Odontoblasten) hergestellt, von denen aus eine weitere Verbindung (*Tomessche Faser*) in das Dentin gewährleistet ist (s. Abb. 2 c dieser Arbeit).

Es wurde weiter histologisch nachgewiesen, daß vereinzelt Nervenfasern durch die Odontoblasten hindurch in das Prädentin ziehen und dort von den *Tomesschen Fasern* abbiegen und eine rückläufige Tendenz zeigen (s. Abb. 3 a, b, c).

Von einigen Autoren (*Dieck, Tojoda, J. Münch, A. J. Held* u. a.) wurden argyrophile Fasern auch in den Dentinkanälchen festgestellt und als nervöse Elemente angesprochen. Man könnte versucht sein, dies auch bei den Abbildungen 5, 6, 7 und 8 zu tun, doch möchten wir mit dieser Behauptung sehr zurückhaltend sein, da ja der gesamte Odontoblastenfortsatz eine fibrilläre Struktur aufweist, was durch *R. M. Frank* elektronenmikroskopisch nachgewiesen wurde. Es besteht daher die Möglichkeit, daß sich bei dem überaus komplizierten Färbungsvorgang die eine oder andere Zellfibrille mit Silber anreichert und so zu Verwechslungen oder Fehlschlüssen Anlaß geben kann.

Letztlich konnte bei der Entwicklung der Zähne ein Nervengeflecht nur im Bereich der Odontoblasten festgestellt werden. Das Prädentin und Dentin waren frei von argyrophilen Fasern.

Wie lassen sich nun diese Befunde mit der Schmerzempfindlichkeit des Dentins in Einklang bringen?

Sollten die wenigen argyrophilen Fasern, die im Dentin gefunden wurden, tatsächlich Nerven sein, so erhebt sich doch sofort die Frage, wie kommt es, daß diese Fasern nur im ersten Drittel oder höchstens bis zur Hälfte der Dentinschicht von der Pulpa an gerechnet gefunden wurden, was sich mit der hohen Empfindlichkeit an der Schmelz-dentingrenze nicht vereinbaren läßt. Gerade an dieser Grenzschicht wurden bisher noch keine Nervenfasern nachgewiesen. Wir konnten argyrophile Fasern, die nervösen Charakter haben könnten, auch nur im ersten Drittel des Dentins beobachten. Es muß also eine andere Möglichkeit geben, die die Schmerzhaftigkeit an der Schmelzdentingrenze erklärt.

In einer persönlichen Mitteilung über diese Fragestellung wies uns der Erlanger Anatom *K. F. Bauer* auf einen Vergleich mit der Innervation der Haarzellen des Ohres hin. Dabei läßt sich, zumindest in Form und Gestalt ein Vergleich zu den Odontoblasten des Dentins ziehen.

Bei den Haarzellen gilt es als einwandfrei erwiesen, daß es sich um „Sinneszellen“ handelt. Sie sind also der Ort, an dem ein physikalischer Reiz in physiologische Erregung umgewandelt wird. Wie diese Umwandlung allerdings vor sich geht, darüber

äußert sich *Ranke* unter Heranziehung aller bisher in dieser Richtung veröffentlichten Untersuchungen sehr zurückhaltend. Er schreibt: „... und an keinem dieser Organe kennen wir im einzelnen die physikalisch-chemischen Vorgänge, die im Innern der Haarzelle bei der Verbiegung der Höhrärchen eintreten.“

– Im Dentin wie im Ohr muß daher die Reizübermittlung, d. h. die Umwandlung eines physikalischen oder chemischen Reizes im Odontoblasten mit seinem Fortsatz bzw. der Haarzelle ablaufen. Es kommt auch rein morphologisch gesehen kein anderer Ort dafür in Frage. Wie dieser Ablauf vonstatten geht, ist im Dentin noch genau so unklar wie im Cortischen Organ. Man ist nur auf Hypothesen angewiesen, die selbstverständlich mit der nötigen Vorsicht aufzunehmen sind. Doch kann die Auffassung von *Sjöstrand*, der sich mit der Übertragung von Lichtreizen auf den Sehnerven befaßt, einige Anhaltspunkte geben. *Sjöstrand* nimmt an, daß diese Übertragung durch monomolekulare Ketten erfolgt und hat dies mit elektronenmikroskopischen Bildern nachzuweisen versucht.

Man kann sich durchaus vorstellen, daß eine ähnliche Übertragung innerhalb des Odontoblasten mit seinen Fortsätzen möglich ist. In einer *Tomesschen* Faser befindet sich eine solche monomolekulare Kette mit ihren Molekülen in einem ihrem elektrischen Potential entsprechend geordneten Ruhezustand. Trifft auf das Ende oder auf einen Teil der Kette ein Reiz, hervorgerufen durch Berührung mit irgend einem Elektrolyten, so kommt es zu einer Potentialänderung an dieser Stelle und es folgt damit eine entsprechende Änderung in sämtlichen Molekülen. Diese Ionenverschiebung verläuft zunächst innerhalb der Molekülkette der Zelle. Da — histologisch nachgewiesen — eine Nervenfasern am zentralen Ende des Odontoblasten entweder intrazellulär liegt oder an der Zellwand ansetzt, wird diese Veränderung innerhalb der Zelle auch auf die Nervenfasern übertragen, bei der ja die Fortleitung in ähnlicher Weise erfolgt.

Mit dieser Hypothese ließen sich die Schmerzempfindungen des Dentins, die durch irgendwelche Reize auf dasselbe ausgeübt wurden, erklären.

Auch die Schmerzlinderung findet darin ihre Erklärung. Bei Austrocknung oder einem Teil der chemischen Mittel kommt es zur Schädigung der Zelle selbst und so zu einer Unterbrechung der Reizleitung. Andere chemische Mittel oder physikalische Einwirkungen können auch zu einer Depolarisation innerhalb der Molekülkette führen, was wiederum die Schmerzausschaltung nach sich zieht.

Zusammenfassung

Frisch extrahierte Zähne sowie Zahnkeime fötaler Unterkiefer vom IV. bis IX. Monat wurden entkalkt und nach der von uns modifizierten Methode von *Bielschowsky-Groß* versilbert. Es wurden dabei in der Pulpa der Zähne sowie der Zahnkeime einwandfrei Nerven dargestellt, die sich bis in die Odontoblastenschicht verfolgen ließen und dort einen fein verzweigten Plexus bildeten. Bei Schnitten voll entwickelter Zähne konnte auch das Eindringen einzelner Nervenfasern in die Zellen der Odontoblasten nachgewiesen werden.

Einzelne Nervenfasern wurden auch noch in der Prädentinschicht beobachtet.

Im ersten Drittel des Dentins konnten wohl einige argyrophile Fasern nachgewiesen werden, deren nervöser Charakter jedoch äußerst fraglich erscheint, so daß diese Fasern dem eigentlichen Odontoblastenfortsatz zugeordnet werden müssen.

Diese Ergebnisse wurden im Zusammenhang mit der Entwicklung der Zahnkeime, dem Aufbau des Dentins, mit den physiologischen Voraussetzungen für eine Reizleitung im Dentin und mit den aus der Literatur bekannten Erkenntnissen über diese Themen kritisch betrachtet und ausgewertet.

Daraus ergibt sich zur Klärung der Schmerzempfindung im Dentin folgendes Bild: In der Pulpa sind die Odontoblasten von einem feinen Nervenetz umspinnen. Einzelne Fasern treten in diese Zellen ein und reichen bis an den Kern. Hierdurch wird der Odontoblast zu einer Vermittlungsstelle, denn er nimmt die auf das Dentin einwirkenden

den Reize durch die Tomesschen Fortsätze auf. Sein in der Pulpa liegender Teil übermittelt den Reiz an den in oder an ihm ansetzenden Nerv und erregt diesen.

Die Fortleitung des auftretenden Reizes von der sehr empfindlichen Schmelzdentingrenze innerhalb des langgezogenen Odontoblasten bis zum eigentlichen Zellkern muß man sich durch eine monomolekulare Kette vorstellen. Durch dieses System der Reizleitung können alle im Bereich des Dentins auftretenden schmerzhaften Sensationen erklärt werden.

- Schrifttum** — Abraham: Korrb. f. Z. 1898, S. 308. — Adrion, W.: Z. R. 1926, Nr. 27, S. 465. — Albrecht: D. M. f. Z. 1903, S. 110. — Allen, Ch.: Austr. J. of Dent. 1932, Vol. 36, S. 1. — Ambrose, J.: J. of Dent. Res. 1943, Vol. 22, H. 1, S. 13. — Annis, W. E.: J. of Dent. Res. 1948, Vol. 27, H. 3, S. 336. — Arvoil, T.: Med. Diss. 1958, Stockholm. — Balestra, D.: Stomat. ital. 1940, Vol. 2, H. 9, S. 571. — Baud, C.-A.: Extrait des Comptes Rendus de L'Association des Anatomistes (Strasbourg, 22–24 mars 1948). — Bull. Mikro. Appl. (2) t. 2, n^{os} 11–12 Nov.—Dez. 1952. — Zusammen mit Held, A. J. Vortrag auf dem XIII. Kongreß der „ARPA“ 1953, Juli, Genf. — Bauer, K. F.: Organisation des Nervengewebes und Neurencytiumentheorie. 1953, Urban & Schwarzenberg, München-Berlin. — Baumann, J. A.: Bull. Schweiz. Akad. Wiss. 1951, Vol. 7, S. 109. — Benninghoff, A.: Lehrbuch der Anatomie des Menschen, III. Band. Urban & Schwarzenberg, München-Berlin 1954. — Beck, P.: Inaug. Diss., Würzburg 1937. — Berkelbach, v. d. Sprenkel: J. Anat. (Brit.), 1936, Vol. 70, S. 233. — Tijdschr. Tandheelk. 1936, Vol. 43, H. 7. — Zeitschr. f. mikr. anat. Forsch. 1935, Vol. 38, S. 1. — Bernik, S.: Anatomic. Rec. 1948, Vol. 101, S. 94. — Bernik, S., Baker, Rutherford und Warren: J. am. Dent. Ass. 1952, Vol. 45, H. 6. — Boll, Fr.: Arch. f. mikro. Anat. IV. 1868 Ref. V. f. Z. 1868, S. 315. — Brashear, A.: J. of Dent. Res. 1934, H. 3, S. 159. — J. of A. D. Ass. 1936, Vol. 23, S. 662. — Brühl: Siehe bei Denker. — Catania, V.: Stomat. 1932, Vol. 30, S. 401. — Carhini, A.: Ref. Odont. 1928, Nr. 5, S. 255. — Christensen, K.: J. Dent. Res. (Am.) 1940, Vol. 19, H. 3, S. 227. — Cocker, R. und Hatton, J. M.: Journal of Anat. 1953, Vol. 89, S. 189–192. — Cutler, S.: Dental Cosmos 1867, Ref. V. f. Z. 1868, S. 156. — Denker, A.: Handbuch d. Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, 6. Bd. Julius Springer, Berlin 1926. — Dependorf: D. M. f. Z. 1909, S. 713. — D. M. f. Z. 1913, S. 377. — D. M. f. Z. 1913, S. 689. — Dieck: Korrb. f. Z. 1927, H. 5, S. 138. — Ebermann, F.: V. f. Z. 1872, S. 190. — Eklöf: Ref. Z. R. 1920, H. 38, S. 454. — Engel: Zeitschr. der Ärzte in Wien 1847, S. 308. — Engelberg, L.: Med. Diss. München 1949. — Euler: D. M. f. Z. 1911, S. 865. — Korrb. f. Z. 1912, H. 3. — Z. W. 1955, Vol. 10, H. 4, S. 87. — Fauchard, P.: Berlin 1733, zit. bei Weil. — Feyrter, F.: Über die Pathologie der vegetativen nervösen Peripherie und ihre ganglionären Regulationsstätten, Wien 1911. — Fish, E. W.: Tijd. Tandheelk. 1930, Vol. 35, S. 178. — Frank, R. M.: J. of the I. A. D. S. 1953, Vol. 1, S. 3. — Archives of oral Biology 1959, Vol. 1, Nr. 1, S. 29. — Friedland: Siehe Scheliga. — Friedrich, W.: DZZ. 1953, Vol. 8, H. 3, S. 117. — Fritsch: Z. f. Stomat. 1914, H. 1, S. 53. — D. M. f. Z. 1913, S. 572. — Arch. f. mikr. Anat. 1914, Vol. 84, S. 307. — Gabel, A. B.: J. of the am. Dent. Ass. 1940, Vol. 27, H. 9, S. 1411. — Gordon, A.: Rev. Odont. (Argent) 1936, Vol. 24, H. 8, S. 475. — Rev. Odont. (Argent) 1936, Vol. 24, H. 9, S. 544. — Graf, M. L. und Björlin: J. of the am. Dent. Ass. 1951, Vol. 43, S. 2. — Grosjean, M. Jaccard und Périer: Schweiz. M. f. Z. 1940, Vol. 50, H. 3, S. 229. — Gysi: Schweiz. V. f. Z. 1901, H. 1, S. 3. — Hammar, J. A.: Zeitschr. f. mikr. anat. Forsch. 1937, Vol. 41, S. 469. — Harriman, G. B.: Dental Cosmos 1871, Ref. V. f. Z. 1871, S. 229. — Held, A. J.: Die mikroskopische Struktur des Zahnes, Lausanne 1947, Verlag F. Roth & Co. — Siehe Baud, C.-A., Held, H. Teubner Leipzig 1902 und 1909. — Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 11, 1924, S. 467. — Helmcke, J. G.: Atlas des menschlichen Zahnes im elektronenmikroskopischen Bild, I. Teil, Berlin 1953, Transmare-Photo GmbH. — Helwig u. Menke, E.: Naturwiss. 1949, Vol. 36, H. 9, S. 381. — Hoyer, E. E.: J. anat. 1935, Vol. 69, S. 369. — Hoffmann, F.: Halae 1738, Cap. IV, Nr. 3, zit. bei Weil. — Hollinshead, W. H.: Siehe Thomas, W. J. — Illyés, L.: Z. Stomat. 1949, Vol. 46, H. 3, S. 101. — Jabonero: Der anatomische Aufbau des peripheren neuro-vegetativen Systems, Springer Verlag 1953. — Kadanoff, D.: Schmerz 1929, Vol. 2, S. 97 u. 134. — Kani, J.: Ref. Fortschr. 1933, Teil II, S. 268. — Kolmer: Siehe bei Denker. — Krüger, F. v.: Fortschr. 1931, Teil I, S. 631. — Kölliger: Gewebelehre 1867, 5. Auflage. — Zeitschr. f. wiss. Zoologie 1849, S. 154. — Landois-Rosemann: Physiologie des Menschen. Urban & Schwarzenberg, Verlag München-Berlin 1950. — Larsell: Zitiert bei Thomas W. J. — Lewinsky, W. und Stewart, D.: Brit. Dent. J. 1938, Vol. 65, H. 11, S. 687. — Lind: Odontolog. Bl. 1900, S. 174. — Linderer, C. J.: Handbuch der Zahnheilkunde. Berlin 1837. — Linderer, J. jun.: Die Zahnheilkunde nach ihrem neuesten Standpunkt. Erlangen 1851. — Lorente de Nó, R.: Laryngoscope 1933, Vol. 43, S. 1. — Maury, F.: Zit. bei Weil, Handbuch der Zahnarztneikunde. Weimar 1830. — Meyer, W.: Normale Histologie und Entwicklungsgeschichte der Zähne des Menschen, München 1951, C. Hanser Verlag. — Monfort, G. C.: Ref. Fortschritt Teil II 1925, S. 179. — Morgenstern, M.: D. M. f. Z. 1892, S. 436. — D. M. f. Z. 1896. — Korrb. f. Z. 1901, S. 174. — Odontbl. 1901–02, Nr. 8, S. 146. — Korrb. f. Z. 1906, S. 107. — D. M. f. Z. 1909, S. 173. — Münch. J.: Vierteljahresschr. f. Z. 1927, H. 4, S. 503. — Stoma 1958, H. 4, S. 171. — D. Z-M-K-hlk. 1934, Bd. 1, S. 49. — Zeitschr. f. Zellforsch. 1934, S. 506. — D. Z-M-K-hlk. 1935, Bd. 2, S. 735. — Mumford, J. M.: Brit. Dent. J. 1952, Jan., S. 39. — Mummery: Ref. Korrb. f. Z. 1914, Nr. 3, S. 277. — Die Innervation im Dentin. Cosmos 1916. — Brit. Dent. J. 1924, März. — Muralt, A. v.: Die Signalübermittlung im Nerven. 1946 Basel. — Obando, P.: La Odontologia 1926, Vol. 35, Nr. 2, S. 80. — Obiglio, A. E.: Rev. Odontol. 1930, Nr. 4, S. 271. — Oksmann, J. M.: Stomatologia 1953, H. 3, S. 11 (russ.). — Papa, N.: Rev. Stomatol. 1928, Vol. 30, Nr. 2, S. 121. — La Stomatologia 1929, H. 1. — Pauvers, M. M.: J. of Dent. Res. 1952, Vol. 31, S. 383. — Perna, A.: La Stomatologia 1928, H. 11, S. 1201. — Philipp: J. A. D. A. 1953, Vol. 50, H. 1, S. 22–34. — Ranke, O. F.: Gehör, Stimme, Sprache. Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1953. — Richmann: Siehe Scheliga, N. — Riegele, L.: Zeitschr. f. Zellforsch. 1932, Bd. 15. — Röse, C.: D. M. f. Z. 1893, S. 58. — Roemer, O.: D. M. f. Z. 1899, H. 9, S. 393. — Zahnhistologische Studien II. Teil, Nerven im Zahnbein. — Fr. Ernst Fehsenfeld, Freiburg/Br. 1899. — Rothschild: DZZ. 1922, März. — Roullier, Ch. L. 1951, Diss., Genf. — Saal, R. v.: Zeitschr. f. Zellforsch. und mikr. Anat. 1930, H. 3/4, S. 638. — Scheliga, N.: D. Z. M. u. K. 1952, B. 17, H. 5/6, S. 192. — Schümmelfeder, N.: Virch. Arch. 1950, Vol. 319, S. 294. — Scott: J. of Dent. Res., Vol. 29, S. 556. — Sealy, V.: Austr. J. Dentistrie 1932, Vol. 36, S. 1. — Serre: J. Berlin 1804, zitiert bei Weil. — Siche, H.: Fortschr. 1928,

Teil I, S. 255. — *Sigmund, C.*: V. f. Z. 1867, S. 179. — *Silbermann, E.*: D. M. f. Z. 1903, S. 258. — *Sjöstrand, F.*: Umschau 1954, Vol. 54, H. 24, S. 751. — *Spreter v. Kreudenstein*: DZZ. 1955, Vol. 10, Nr. 6, S. 473. — *Stewart, D.*: Proc. of the Royal Society of Med. 1927, Vol. 20, Nr. 10, S. 1675. — Brit. Dent. J. 1936, Vol. 60, H. 42, S. 613. — *Stöhr, Ph. jun.*: Lehrbuch der Histologie, Springer Verlag 1951, S. 337. — Stuttgart 1947, Allgemeine pathologische Schriften, Bd. 6. — Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen. IV. Band, Teil 5, S. 297-302, Springer Verlag Berlin-Göttingen-Heidelberg 1957. — *Syrrist, A.*: Odontologisk Tidskrift 1949, Vol. 57, S. 79. — *Syrrist, A.* und *Gustafson*: Odontologisk Tidskrift 1951, Vol. 59, S. 59. — *Terasaka, U.*: Ref. Zbl. f. Ges. Z. M. Khlk. 1940, Vol. 5, S. 245. — *Thomas, W. J.*: Oral Surg. Oral Med. and Oral Path. 1950, Vol. 3, Nr. 9. — *Tojoda*: D. Z. W. 1934, Nr. 28/29, S. 641. — DZZ. 1955, Vol. 10, Nr. 1, S. 51. — *Tscheng, K. T.*: Akta Anat. Basel 1951, H. 11, S. 431. — *Türkheim, H.*: Ergebnisse der Zahnhlk. VI 1922, S. 353. — D. Z. W. 1920, H. 5, S. 42. — *Urbantschitsch, E.*: V. f. Z. 1921, S. 87. — *Walkhoff, O.*: D. M. f. Z. 1898, H. 1, S. 1/64/190. — D. M. f. Z. 1901, H. 9, S. 410. — Histologie menschlicher Zähne 1901, Leipzig, Arthur Felix. — D. Zhlk. 1923, H. 60. — *Verne, J.*, Rev. Odont. (Franz.) 1936, Vol. 58, H. 9/10, S. 605. — *Weber, A.*: Zitiert bei *Baud, C.-A.* — *Weil*: D. M. f. Z. 1887, H. 9, S. 335. — D. M. f. Z. 1888, H. 1, S. 10. — *Widdowson*: Brit. Dent. J. 1929, H. 8. — *Witt, O.*: Z. R. 1930, H. 41/42, S. 1792/1834. — *Wyckoff* siehe *Scott*. — *Zeiger*: Physiochemische Grundlagen der histologischen Methodik. Leipzig 1938.

Anschrift des Verfassers: Priv.-Doz. Dr. med. Dr. med. dent. Oskar Bock, Erlangen,
Turnstraße 5-7

